

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра отопления и вентиляции

ПОЛНЫЙ ТЕПЛОВОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОВОДЯНОГО ЭЛЕВАТОРА

Методические указания к выполнению курсовых и
дипломных проектов по отоплению и вентиляции
гражданских и промышленных зданий для студентов очной
и заочной форм обучения специальностей
270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция» и
140104 «Промышленная теплоэнергетика»

Нижний Новгород, 2009

УДК 624.132

Полный тепловой и гидравлический расчет водоводяного элеватора

Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов по отоплению и вентиляции гражданских и промышленных зданий для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция» и 140104 «Промышленная теплоэнергетика»

Нижний Новгород, изд. ННГАСУ, 2009 г.

Приведена методика, пример расчета и конструкции струйных насосов (водоводяных элеваторов), являющихся частью элеваторного ввода водоводяного отопления гражданских и промышленных зданий. Дана последовательность подбора серийно выпускаемых водоводяных элеваторов.

Рис. 3, прилож. 4.

Составили: В.И. Бодров, В.Ф. Бодрова, В.В. Сухов

© Коллектив авторов

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Общие положения

Водоводяные элеваторы применяются в системах отопления для понижения температуры воды в наружном подающем трубопроводе до температуры, допустимой в системе отопления, t_r , и частичной передачи давления, создаваемого центральным насосом на тепловой станции, в местную систему отопления для создания циркуляции воды. Таким образом, водоструйный элеватор в системе отопления выполняет одновременно две функции, заменяя смесительный и циркуляционный насосы.

Водоструйный элеватор устанавливается в индивидуальном тепловом пункте здания. Принципиальная схема индивидуального теплового пункта системы отопления с водоводяным элеватором приведена на рис. 1.

Одним из недостатков водоструйного элеватора является его низкий коэффициент полезного действия (КПД). Статический КПД стандартного элеватора практически не превышает 10 %. Следовательно, циркуляционное давление на вводе теплопроводов наружных тепловых сетей в здание должно не менее чем в 10 раз превышать потери давления в системе отопления Δp_c . Это условие устанавливает верхний предел потери давления при использовании элеваторной смесительной установки величиной $\Delta p_c \leq 1,2 \cdot 10^4$ Па. Другим недостатком водоструйного элеватора является постоянство коэффициента смешения, исключающее местное качественное регулирование теплопередачи отопительных приборов.

Горячая вода из тепловой сети G_1 , кг/с, (в зимний период с температурой $T_1 = 130 \dots 150^\circ\text{C}$) поступает в насадку. Обратная вода из системы отопления G_0 , кг/с, с температурой $t_0 = 70^\circ\text{C}$ смешивается в элеваторе с горячей водой до температуры $t_r = 95^\circ\text{C}$ и в количестве G_r , кг/с, поступает в подающую магистраль системы отопления. Часть обратной воды в количестве

$(G_r - G_0)$, кг/с, с температурой $t_0 = 70^\circ\text{C}$ удаляется в тепловую сеть. Следовательно, элеватор работает на замкнутое кольцо системы отопления.

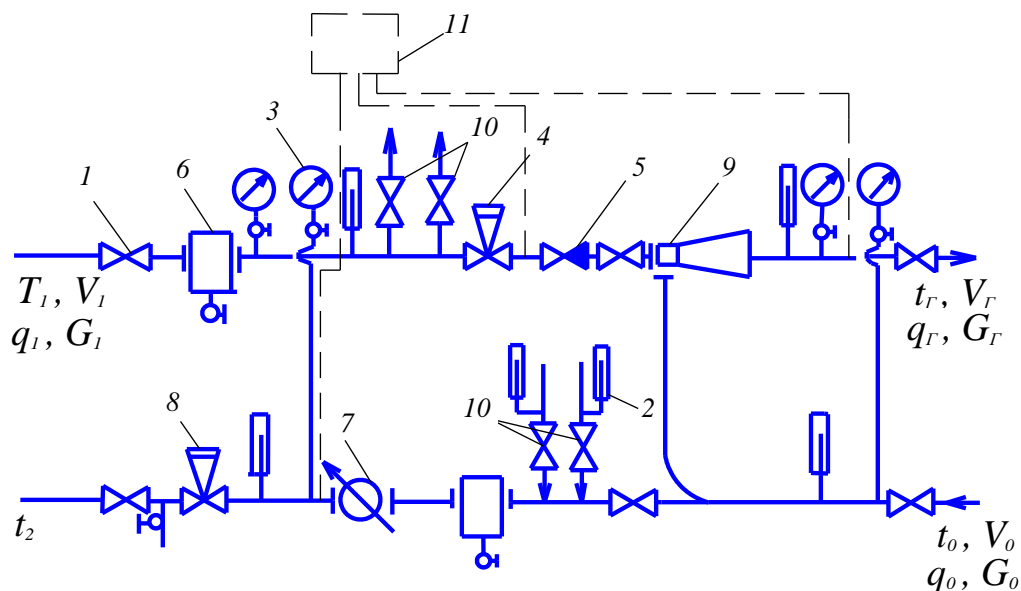


Рис. 1. Элеваторный ввод: 1 – задвижка; 2 – термометр; 3 – манометр; 4 – регулятор расхода; 5 – обратный клапан; 6 – грязевик; 7 – тепломер; 8 – регулятор давления; 9 – водоструйный элеватор; 10 – ответвления для систем приточной вентиляции и кондиционирования воздуха; 11 – регулятор температуры

Схема давлений при установившейся работе элеватора приведена на рис. 2. Постоянство гидродинамического давления в начале смесительной камеры элеватора изобразим горизонтальной линией al . Далее происходит повышение давления при внезапном расширении потока от площади сечения f'_3 до f_3 (кривая lo), (условные обозначения в формулах 1...4 будут приведены ниже).

$$\Delta p_n = V_3 \rho_r (V'_3 - V_3). \quad (1)$$

От точки l отложим вверх величину динамического давления, отвечающего осредненной скорости V'_3 потоков в самом начале камеры (ордината lm), Па:

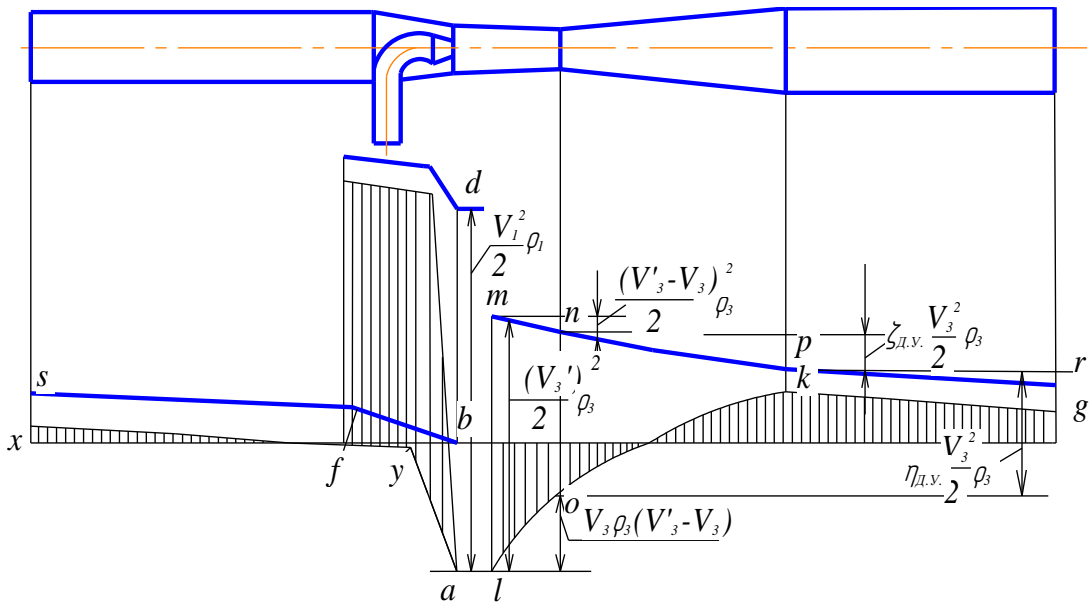


Рис. 2. Схема давлений в водоструйном элеваторе для водоводяного отопления

$$\frac{(V'_3)^2}{2} \rho_{\Gamma} \cdot \quad (2)$$

От точки m проведем наклонную линию mn – потери полного давления при внезапном расширении смеси потоков, Па:

$$\Delta p = \frac{(V'_3 - V_3)^2}{2} \rho_{\Gamma} \cdot \quad (3)$$

Далее от точки n проведем линию np – потери полного давления в диффузоре, Па:

$$\Delta p_{\text{д}} = (1 - \eta_{\text{д.у.}}) \frac{V_3^2}{2} \rho_{\Gamma} = \xi_{\text{д.у.}} \frac{V_3^2}{2} \rho_{\Gamma} \quad (4)$$

Затем проведем линию падения полного давления в системе отопления (pr) и линию изменения гидродинамического давления (kg).

Уменьшению полного давления в подсасывающей части элеватора отвечает линия fb . Уменьшению гидродинамического давления при увеличении скорости подсасываемого элеватором потока до наивыгоднейшей скорости V_0 отвечает линия ya . Увеличению гидродинамического давления в диффузоре отвечает линия ok .

Отношение двух потоков воды в элеваторе

$$u = \frac{G_0}{G_1} \quad (5)$$

называется коэффициентом смешения (подмешивания).

В приложениях 1 и 2 приведены элеваторы различных конструкций и размеров серийного производства.

Расчет и подбор водоструйного элеватора

Расчет проводим, используя теорию смешения потоков профессора, доктора технических наук П.Н. Каменева (Гидроэлеваторы в строительстве. М., Стройиздат, 1970).

Исходные данные для расчета:

- теплотери здания $Q = 728000$ Вт ;
- температура воды в подающей магистрали системы отопления $t_r = 95$ °С ;
- температура воды в обратной магистрали $t_o = 70$ °С ;
- температура воды, поступающей из насадки $T_1 = 130$ °С ;
- плотность воды

$$\rho_1 = 935 \text{ кг/м}^3 \text{ при } 130 \text{ °С ;}$$

$$\rho_0 = 977,81 \text{ кг/м}^3 \text{ при } 70 \text{ °С ;}$$

$$\rho_r = 961,9 \text{ кг/м}^3 \text{ при } 95 \text{ °С ;}$$

- потери давления в системе отопления $\Delta p_c = 10000$ Па (определяются из гидравлического расчета системы отопления).

Примечание: при $T_1 = 150$ °С плотность воды $\rho_r = 916,9$ кг/м³.

Решение

Расчетная схема элеватора изображена на рис. 3.

Объемный расход воды, проходящий через горловину при температуре

воды $t_r = 95$ °С :

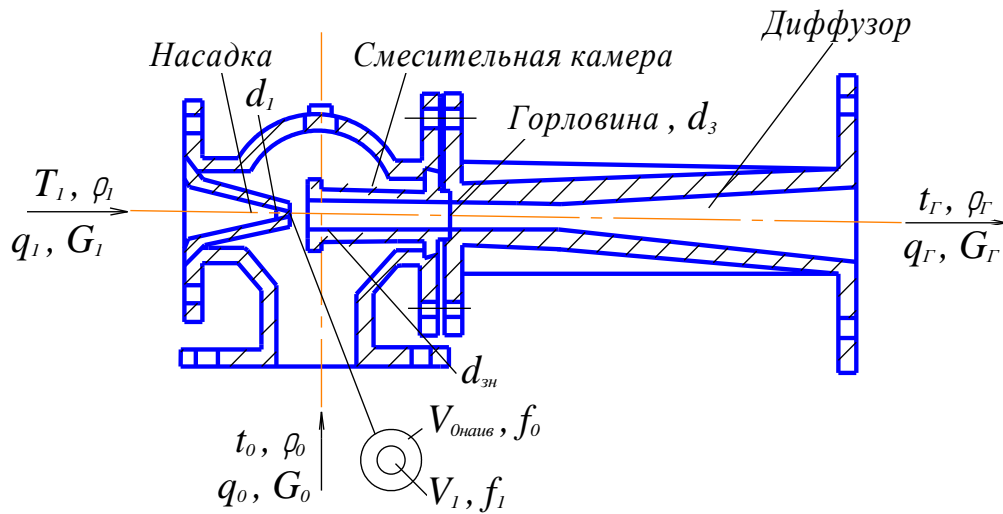


Рис. 3. Расчетная схема элеватора

$$q_r = \frac{Q}{(t_r - t_0) \rho_r c_B}, \quad (6)$$

где $c_B = 1,163 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ – удельная теплоемкость воды.

$$q_r = \frac{728000}{(95 - 70) \cdot 961,9 \cdot 1,163} = 25,99 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,007219 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый её расход:

$$G_r = q_r \cdot \rho_r = 0,007219 \cdot 961,9 = 6,944 \text{ кг/с}.$$

Массовый расход воды, нагнетаемой из насадки :

$$G_1 = \frac{Q}{(T_1 - t_0) c_B} = \frac{728000}{(130 - 70) \cdot 1,163} = 10417 \text{ кг/ч} = 2,894 \text{ кг/с}.$$

Объемный расход этой воды при температуре $T_1 = 130 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$q_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{2,894}{935} = 0,003095 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход воды, подсасываемой элеватором :

$$G_0 = G_r - G_1 = 6,944 - 2,894 = 4,05 \text{ кг/с}.$$

Объемный расход её при температуре в обратной магистрали

$t_0 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$q_0 = \frac{G_0}{\rho_0} = \frac{4,05}{977,81} = 0,004142 \text{ м}^3/\text{с} .$$

Коэффициент смешения u по формуле (5) составляет :

$$u = G_0 : G_1 = 4,05 : 2,894 = 1,4 . \text{ Этот же коэффициент}$$

смешения получим из теплового баланса элеватора :

$$1 T_1 + u t_0 = (1 + u) t_r \quad (7)$$

или

$$1 \cdot 130 + u \cdot 70 = (1 + u) \cdot 95 ,$$

откуда $u = 1,4$.

Примечание. При температуре воды в наружной тепловой сети $T_1 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ имеем баланс : $1 \cdot 150 + u \cdot 70 = (1 + u) \cdot 95$, откуда $u = 2,2$.

Во избежание засорения элеватора примем сравнительно большое расстояние от насадки до начала смесительной камеры. В таком случае условный коэффициент полезного действия диффузора $\eta_{д.у.} = 0,65$ и $\xi_0 = 0$.
Здесь $\eta_{д.у.} = 1 - \sum \xi_3$; где $\sum \xi_3$ – коэффициент местного сопротивления смесительной камеры и диффузора; ξ_0 – коэффициент местного сопротивления при входе подсасываемого потока в смесительную камеру.

Зная $\eta_{д.у.}$ и u , примем по приложению 4 наивыгоднейшее отношение скорости подсасываемого потока в кольцевом пространстве в начале камеры к скорости в горловине $n_{наив.} = 0,5045$.

Определим осредненную скорость смешивающихся потоков в начале смесительной камеры V'_3 :

$$V'_3 = \sqrt{\frac{2\Delta p_c (1 + \sum \xi_3)}{\rho_\Gamma - (1 + \xi_0)\rho_0 (1 + \sum \xi_3)n_{\text{наив}}^2}}, \quad (8)$$

$$V'_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot (1 + 0,35)}{961,9 - (1 + 0) \cdot 977,81 \cdot (1 + 0,35) \cdot 0,35^2}} = 6,51 \text{ м/с}.$$

Скорость в горловине элеватора :

$$V_3 = V'_3 / (1 + \sum \xi_3), \quad (9)$$

$$V_3 = \frac{6,51}{1 + 0,35} = 4,822 \text{ м/с}.$$

Наивыгоднейшая скорость подмешиваемого потока в начале смесительной камеры :

$$V_{0 \text{ наив.}} = n_{\text{наив.}} \cdot V'_3, \quad (10)$$

$$V_{0 \text{ наив.}} = 0,5045 \cdot 6,51 = 3,284 \text{ м/с}.$$

Проверим основные правила работы элеватора с высоким КПД.

Повышение давления при внезапном расширении потока от площади сечения f_3 до f'_3 в смесительной камере (по формуле 1) :

$$\Delta p_k = 4,822 (6,51 - 4,822) \cdot 961,9 = 7970 \text{ Па}.$$

Повышение давления в диффузоре (по формуле 4) :

$$\Delta p_d = (1 - 0,35) \cdot \frac{4,822^2}{2} \cdot 961,9 = 7422 \text{ Па}.$$

Динамическое давление подсасываемого потока в начале смесительной камеры (не потери)

$$\Delta p_{\text{д.о}} = \frac{V_{0 \text{ наив.}}^2}{2} \rho_0,$$

$$\Delta p_{\text{д.о}} = \frac{3,284^2}{2} \cdot 977,81 = 5372 \text{ Па}.$$

Запишем основное уравнение для определения полного давления, развиваемого элеватором :

$$\sum \Delta p_o = \Delta p_c = V_3 (V'_3 - V_3) \rho_\Gamma + \eta_{\text{д.у.}} \frac{V_3^2}{2} \rho_\Gamma - (1 + \xi_0) \frac{V_0^2}{2} \rho_0 \quad (12)$$

или конкретно

$$10000 = 7970 + 7422 - 5372 \text{ Па} .$$

$$\text{Получаем : } 10000 \approx 10020 \text{ Па} .$$

Проверяем закон сохранения энергии при установившейся работе элеватора. Необходимая скорость в выходном сечении насадки определяется из уравнения :

$$V_1 = (1 + u - n_{\text{наив}} \cdot u \cos \alpha_0) V'_3 , \quad (13)$$

где α_0 – угол между векторами скоростей V_1 и $V_{0 \text{ наив}}$ в начале смесительной камеры , град .

Считая $\alpha_0 = 0^\circ$, имеем

$$V_1 = (1 + 1,4 - 0,5045 \cdot 1,4 \cdot 1) \cdot 6,51 = 11,02 \text{ м/с} .$$

Давление, затарчиваемое в выходном сечении насадки (без потерь в самой насадке), равно динамическому давлению в выходном сечении насадки минус динамическое давление подмешиваемого потока в начале смесительной камеры :

$$\Delta p_n = \frac{11,02^2}{2} \cdot 935 - 5372 = 52465 \text{ Па} .$$

Определим основные размеры элеватора.

Площадь выходного сечения насадки :

$$f_1 = q_1 / V_1 , \quad (14)$$

$$f_1 = \frac{0,003095}{11,02} = 0,000281 \text{ м}^2 = 2,81 \text{ см}^2 .$$

Площадь кольцевого сечения для подсасываемого потока в начале смесительной камеры :

$$f_0 = \frac{0,004142}{3,284} = 0,00126 \text{ м}^2 = 12,6 \text{ см}^2 .$$

Общая площадь сечения в начале смесительной камеры :

$$f_{3 \text{ н}} = f_1 + f_0 , \quad (15)$$

$$f_{3 \text{ н}} = 2,81 + 12,6 = 15,41 \text{ см}^2 , \text{ откуда } d_{3 \text{ н}} = 4,43 \text{ см} = 44,3 \text{ мм} .$$

Площадь сечения горловины :

$$f_3 = \frac{0,007219}{4,822} = 0,001496 \text{ м}^2 = 14,96 \text{ см}^2, \text{ откуда } d_{3 \text{ н}} = 43,7 \text{ см} \approx 44,3 \text{ мм} .$$

$$\text{Примем } d_3 = \frac{43,7 + 44,3}{2} = 44 \text{ мм} .$$

Водоструйный элеватор Госсантехстроя № 6 (см. приложение 3) имеет $d_{3\text{р}} = 47 \text{ мм}$. Если принять этот элеватор, то при заданном расходе

$q_{\Gamma} = 0,007219 \text{ м}^3/\text{с}$ будем иметь скорость в смесительной камере

$$V_{3\text{р}} = 4,822 \left(\frac{44}{47} \right)^2 = 4,22 < 4,822 \text{ м/с} .$$

Оставляя в качестве приближения ту же площадь выходного сечения насадки $f_1 = 2,81 \text{ см}^2$, получим из (15) площадь для подсасываемого потока в начале смесительной камеры :

$$f_0 = \frac{\pi d_{3\text{р}}^2}{4} - f_1 = \frac{3,14}{4} 4,7^2 - 2,81 = 14,53 \text{ см}^2 .$$

Скорость подсасываемого потока в начале смесительной камеры :

$$V_0 = \frac{q_0}{f_0} = \frac{0,004142 \cdot 10^4}{14,53} = 2,85 \text{ м/с} .$$

Полное давление, создаваемое элеватором, определится на основании формулы (12) при замене скоростей воды в смесительной камере и подсасываемого потока на действительные в выбранном элеваторе. В связи с отличием действительной скорости подсасываемого потока V_0 от наиболее выгоднейшей $V_{0 \text{ наив}}$. Коэффициент местного сопротивления при входе подсасываемого потока в смесительную камеру принимаем равным $\xi_0 = 0,1$.

Имеем :

$$V_{3\text{р}} (V'_{3\text{р}} - V_{3\text{р}}) \rho_{\Gamma} + \eta_{\text{д.у.}} \frac{V_{3\text{р}}^2}{2} \rho_{\Gamma} - (1 + \xi_0) \frac{V_0^2}{2} \rho_0 = \Delta p_c$$

или

$$4,22 (V'_{3p} - 4,22) \cdot 961,9 + 0,65 \cdot \frac{4,22^2}{2} \cdot 961,9 - (1 + 0,1) \frac{2,85^2}{2} \cdot 977,81 = 10000 \text{ Па} ,$$

откуда $V'_{3p} = 6,292 \text{ м/с}$.

Необходимую скорость в выходном сечении насадки получим из равенства :

$$V_1 + V_0 u = (1 + u) V'_{3p} \quad (16)$$

$$V_1 = (1 + u) V'_{3p} - V_0 u = (1 + 1,4) \cdot 6,292 - 2,85 \cdot 1,4 = 11,1 > 11,02 \text{ м/с} .$$

Площадь выходного сечения насадки :

$$f_1 = \frac{q_1}{V_1} = \frac{0,003095}{11,1} = 0,0002785 \text{ м}^2 = 2,785 \text{ см}^2 < 2,81 \text{ см}^2 ,$$

откуда $d_1 = 18,8 \text{ мм}$.

Уточненная величина давления, затрачиваемого в выходном сечении насадки :

$$p_H = \frac{V_1^2}{2} \rho_1 - \frac{V_0^2}{2} \rho_0 , \quad (17)$$

$$p_H = \frac{11,1^2}{2} \cdot 935 - \frac{2,85^2}{2} \cdot 977,81 = 54650 \text{ Па} > 52467 \text{ Па} .$$

Принимая коэффициент местного сопротивления насадки $\xi_1 = 0,06$, получим необходимое минимальное давление в наружной тепловой сети перед элеватором :

$$p_{\text{нар}} = (1 + \xi_1) p_H = (1 + 0,06) \cdot 54650 = 57900 \text{ Па} .$$

Приложение 1

Элеваторы стальные кованные конструкции Центроэнергостроя .

(размеры в мм)

№ элеватора	d_3	d	d_2	D_2	D_3	L	l_0	l_2	l_3	l_1	h
1	15	30	30	85	100	355	70	40	65	200	100
2	20	35	50	100	100	425	93	50	70	237	110
3	25	40	65	125	145	550	104	62	75	340	130
4	30	49	76	125	160	600	125	80	90	345	130
5	35	49	76	125	160	625	125	80	110	350	150
6	45	60	95	160	180	720	130	92	140	360	175

Приложение 2

Элеваторы стальные кованные конструкции ОРГРЭС .

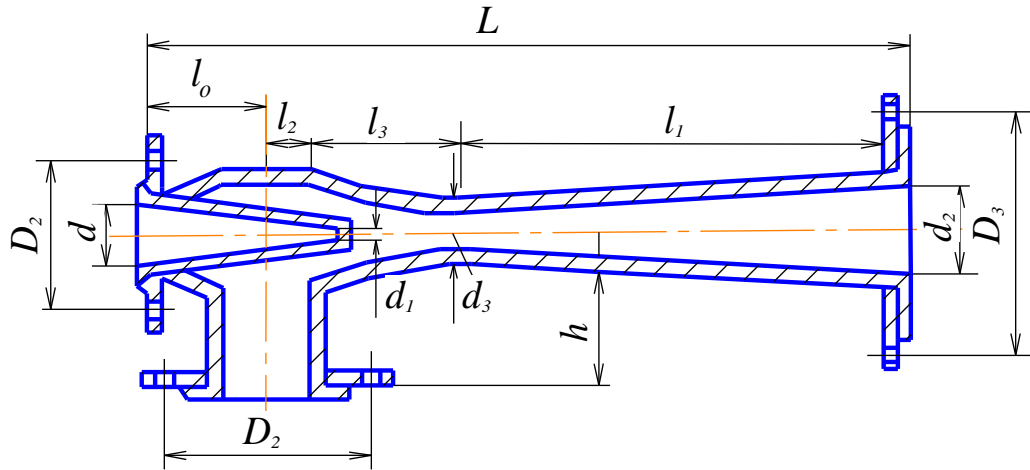
(размеры в мм)

№ элеватора	d_3^*	d	d_2	D_2	D_3	L	l_0	l_2	l_3	l_1	h
1	15	25	40	75	100	355	58	22	60	200	100
2	20	32	51	100	125	425	70	25	74	237	110
3	25	40	68	110	145	550	75	28	84	340	130
4	32	50	81	125	160	600	82	36	108	345	130
5	40	65	93	145	170	625	92	37	109	350	150
6	50	75	98	160	180	720	100	50	169	360	175
7	60	100	123	180	210	780	110	55	200	360	200
8	80	123	150	200	240	850	125	64	229	365	230

* - Внутренний диаметр

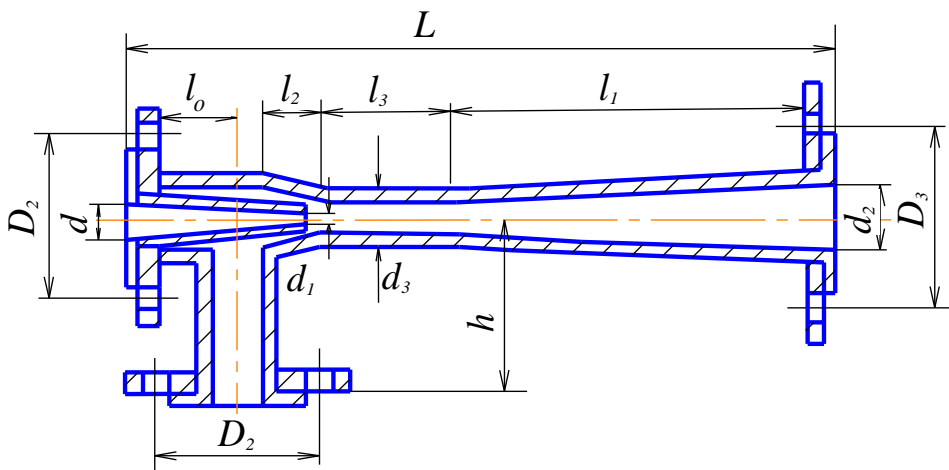
К приложению 1

Элеваторы Центроэнергостроя №№ 1...6

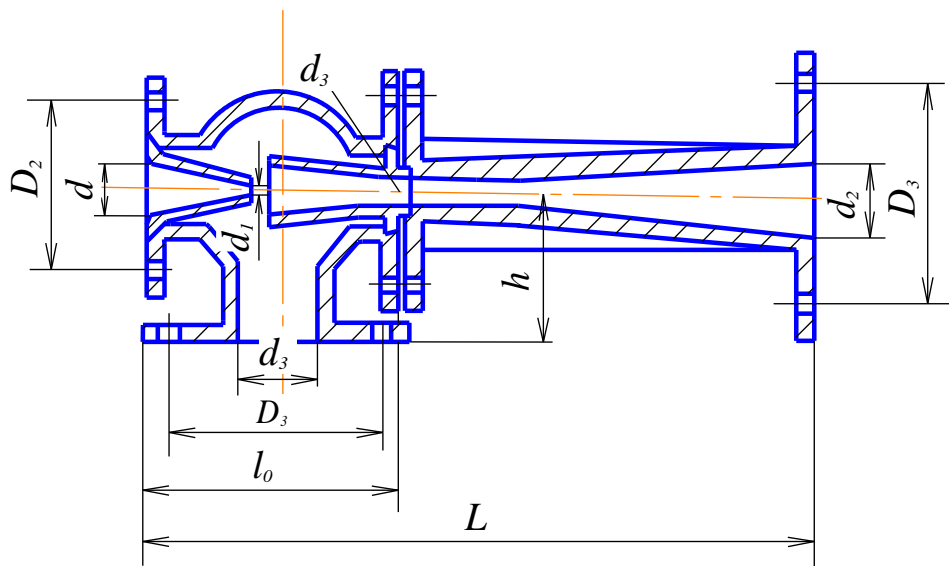


К приложению 2

Элеваторы ОРГРЭС №№ 1...8



Элеваторы чугунные конструкции Госсантехстроя
(размеры в мм)



№ элеватора	d_3	d	d_2	D_2	D_3	L	l_0	h
1	14,8	33	39	90	110	355	135	80
2	20,8	45	49	90	110	425	175	90
3	25,5	55	64	137	130	550	210	110
4	31	60	76	137	150	600	265	130
5	35,7	65	76	147	150	625	270	155
6	47	80	94,5	155	160	720	358	175

Расчет струйных аппаратов с высоким КПД по
механическому подобию

u	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75
$n_{\text{наиб.}}$	0,1694	0,2541	0,3087	0,3479	0,3781	0,4309

u	1,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,5
$n_{\text{наиб.}}$	0,4663	0,5045	0,5307	0,5409	0,5555	0,5615

Валерий Иосифович Бодров
Валентина Федоровна Бодрова
Вячеслав Васильевич Сухов

Полный тепловой и гидравлический расчет водоводяного элеватора

Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов по отоплению и вентиляции гражданских и промышленных зданий для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция» и 140104 «Промышленная теплоэнергетика»

Подписано к печати _____, бумага оберточная.

Ф. 60x90 1/16. Печать офсетная. Уч.-изд.л. 1,0.

Усл.печ.л. 1,2 . Тираж 300 экз. Заказ № _____.

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
(ННГАСУ), 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.